

PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE D'UN OBJET
DESCRIPTION

Cette invention concerne un procédé
5 d'examen radiologique multi-énergie d'un objet.

Les procédés radiologiques consistent à
faire traverser un objet à étudier par un rayonnement
pour en déduire la répartition de différentes
catégories de matériaux, absorbant le rayonnement de
10 façons différentes, dans cet objet. Une application
très courante est l'ostéodensitométrie, où on recherche
la masse et la densité des tissus osseux dans un
patient en distinguant ces tissus des tissus mous.

Il est usuel d'utiliser un spectre de
15 rayonnement large et à le diviser en bandes mesurées
séparément par des canaux de mesure respectifs. Comme
les coefficients d'absorption ou d'atténuation du
rayonnement par l'une ou l'autre des catégories de
tissu sont différents pour chacune des bandes, le
20 problème théorique se ramène à la solution d'un système
d'équations dont le nombre est égal à celui des bandes
de mesure et qui comprennent chacune deux inconnues
(les épaisseurs ou les masses traversées de tissus mous
et osseux). La solution du problème devient possible
25 après une calibration obtenue en faisant traverser par
le rayonnement divers étalons dotés d'épaisseurs
connues de matériaux aux propriétés d'absorption
analogues à celles des matériaux de mesure, et
notamment le plexiglas et l'hydroxyapatite pour simuler
30 les tissus mous et les tissus osseux. On peut alors,
calculer les paramètres mathématiques d'un modèle

B 14155.3/JCI

reliant les mesures d'atténuation aux épaisseurs des matériaux.

On notera qu'en réalité le corps humain contient trois catégories principales de tissus : les
5 tissus osseux, les tissus maigres et les tissus gras, mais qu'on n'en considère que deux en général à cause de difficultés à distinguer ces trois catégories dans les mesures, de sorte qu'on confond volontairement les
tissus maigres et gras. D'autres procédés sont ensuite
10 appliqués pour distinguer leurs proportions dans les tissus mous.

La largeur du spectre permet de disposer d'un nombre beaucoup plus grand de bandes de mesures qu'il ne serait nécessaire pour obtenir une solution,
15 et de les employer toutes pour obtenir des résultats plus précis en exploitant toute l'information d'absorption obtenue. Dans l'article "Measurement of bone mineral using a multiple-energy x-ray absorptiometry", par J. Swanpalmer, R. Kullenberg, T.
20 Hansson, Phys.Med.Biol, Vol 43, 1997:pp 379-387, où on dispose de 23 bandes de mesures et où on considère les trois catégories de tissus, il est proposé de combiner les groupes de mesures trois par trois de toutes les
façons possibles pour obtenir 1771 ($23 \times 22 \times 21 / 2 \times 3$)
25 systèmes de trois équations à trois inconnues qui donnent autant de groupes de résultats. Il convient alors d'appliquer un critère de choix. Les auteurs conseillent de choisir comme résultat véridique celui qui est à la valeur moyenne, ou à la valeur médiane,
30 pour le paramètre le plus important, qui peut être la masse osseuse traversée.

Contrairement à ce qu'on a conseillé plus haut, les auteurs considèrent les trois catégories de tissus. Cela ne met pas en question la validité de leur méthode, à condition d'exposer le patient à une intensité d'irradiation beaucoup plus forte pour ramener les incertitudes des mesures à des proportions acceptables. Il serait d'ailleurs possible de modifier simplement leur méthode pour l'appliquer à des mesures sur deux tissus, ou plus généralement deux catégories de matériaux, seulement. Toutefois, il subsiste le défaut que cette méthode ne tient pas compte du bruit sur les mesures et qu'elle conduit donc à des résultats bruités.

L'invention a pour objet un perfectionnement de tels procédés par combinaison de résultats nombreux et comprend une amélioration du critère de choix des résultats. Plus précisément, elle concerne sous sa forme la plus générale un procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficient (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un

B 14155.3/JCI

calcul de facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal (variance minimale en langage mathématique) calculé d'après les bruits sur les mesures (variances sur les mesures).

5 L'invention sera maintenant décrite en référence aux figures :

- la figure 1 est une vue d'un spectre,
- la figure 2 est une répartition de résultats,
- 10 - et la figure 3 est un organigramme résumant l'invention, auquel on pourra se reporter dans toute la description qui suit.

L'atténuation du rayonnement peut être exprimée par une fonction des épaisseurs traversées de
 15 chacun des matériaux d'indices x et y , ou de leurs masses M (densités par unité de surface) dans la direction du rayonnement. Le spectre de mesures de la figure 1 est divisé en N bandes notées généralement par les indices i et j . Les atténuations varieront dans
 20 chacune des bandes en raison de coefficients d'absorption variables pour les deux matériaux. Si nous appelons mes_i ou mes_j les mesures pour une bande d'énergie i ou j , les masses traversées M_x et M_y pourront chacune être exprimées aussi, par exemple, par
 25 la formule générale

$$\hat{M} = A_1 + A_2 \cdot mes_i + A_3 \cdot mes_j + A_4 \cdot mes_i^2 + A_5 \cdot mes_j^2 + A_6 \cdot mes_i \cdot mes_j \dots$$
 les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation mes_i
 30 $= \ln \left(\frac{noi}{ni} \right)$ où noi est le nombre de photons arrivant sur l'objet et ni celui des photons ayant traversé l'objet.

Comme la non-linéarité des fonctions M_x et M_y en fonction des mesures est faible en pratique, on peut s'accommoder de cette fonction polynomiale du deuxième degré qui comprend six coefficients A_1 à A_6 . Le degré du polynôme peut être ajusté en fonction du problème ; Par exemple, pour l'analyse d'objets constitués de matériaux ayant des numéros atomiques plus élevés que celui des tissus biologiques, comme le contrôle non destructif pour l'examen d'un objet métallique. les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation $mes_i = \ln (n_{oi}/n_i)$ où n_{oi} est le nombre de photons arrivant sur l'objet et n_i celui des photons ayant traversé l'objet.

Ces coefficients peuvent être trouvés dans une étape d'étalonnage à travers des étalons, appelés parfois fantômes ou cales dans l'art, et qui consistent en des pièces formées d'épaisseurs connues et différentes entre elles de matériaux simulant, par leurs propriétés d'atténuation, les matériaux de l'objet qui sera effectivement à mesurer. Chacun des étalons est donc soumis à une irradiation par le rayonnement pendant une longue durée qui permet de réduire l'influence du bruit sur les mesures. Le spectre mesuré pour chacun des étalons donne encore N mesures résultant de la décomposition du spectre en autant de bandes. En combinant maintenant deux séries de mesures i et j prises pour deux bandes et pour chacun des étalons, on recherche les coefficients A pour ajuster les fonctions M_x et M_y aux mesures. Dans le cas présent, où il y a six coefficients A pour chacune

des deux fonctions, et où on considère les combinaisons de deux bandes de mesure, les mesures pour chacune des bandes devront, pour fournir une solution unique, porter sur six étalons. Des étalons plus nombreux
5 pourront aussi être utilisés pour améliorer la précision sur la solution. Une minimisation de fonction d'erreur sera alors appliquée.

Cette détermination des coefficients A est répétée pour diverses combinaisons de paires de
10 mesures. Il en était encore ainsi dans l'article antérieur mentionné plus haut ; cependant, on a constaté qu'il était inutile d'effectuer toutes les combinaisons, au nombre de $\frac{N \times (N-1)}{2}$, pour exploiter
complètement les mesures et que (N-1) combinaison
15 étaient en réalité suffisantes pour recueillir toute l'information.

Une façon préférée de procéder consiste à choisir au départ la bande de mesures qui est la moins bruitée (par exemple celle qui a le signal n - le
20 nombre de photons à la réception- le plus important) et à l'associer successivement à chacune des autres bandes de mesures pour les combinaisons. On obtient finalement (N-1) estimations des deux fonctions M_x et M_y , qu'on note $\hat{M}_1, \hat{M}_2, \dots, \hat{M}_{N-1}$ pour chacune de ces deux fonctions.

25 A ce stade du procédé, les fonctions M_x et M_y , représentatives des longueurs traversées de deux matériaux représentatifs des tissus osseux et des tissus mous, pourront être converties en fonction M_v , M_v et M_w représentatives des longueurs équivalentes
30 traversées des tissus osseux, des tissus maigres et des

B 14155.3/JCI

tissus gras en combinant linéairement M_x et M_y de trois façons différentes déterminées par l'expérience. Ce procédé de conversion est indépendant de l'invention, déjà connu dans l'art.

- 5 Comme il n'y a pas de raison de préférer l'une ou l'autre de ces estimations \hat{M} , un critère de choix doit être appliqué pour obtenir l'estimation \hat{M} finale qui sera jugée véridique. Dans l'article antérieur, une des expressions obtenues était
- 10 directement sélectionnée d'après un critère de classement (le résultat médian) ou de moyenne des valeurs prises par les expressions pour un des résultats. Dans l'invention, les expressions \hat{M} seront combinées, par exemple linéairement, d'après la formule
- 15 \hat{M} finale = $(a_1 \hat{M}_1) + (a_2 \hat{M}_2) + \dots + (a_{N-1} \hat{M}_{N-1})$ tout en minimisant le bruit ; les coefficients a_1 , etc. ont une somme égale à l'unité ($a_1 + a_2 + \dots + a_{N-1} = 1$).

- Pour chaque canal de mesure, le bruit sur le nombre de photons suit une loi statistique de
- 20 Poisson, dont le résultat est indépendant pour chacun des canaux. La matrice de covariance des $N-1$ résultats peut être exprimée d'après la formule

$$\Gamma_{ij} = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{\partial \hat{M}_i}{\partial mes_k} \frac{\partial \hat{M}_j}{\partial mes_k} \frac{1}{N_k}$$

- La variance sur la combinaison linéaire
- 25 donnant \hat{M} finale s'exprime par la formule $f = (a_1, \dots, a_{N-1}) \cdot \Gamma \cdot (a_1, \dots, a_{N-1})$; cette quantité f atteint une valeur optimale quand sa dérivée selon toutes les variables

est nulle, c'est-à-dire que l'influence du bruit est

$$\text{minimisée, soit : } \begin{cases} \partial f / \partial a_1 = 0 \\ \partial f / \partial a_2 = 0 \\ \dots \\ \partial f / \partial a_{N-1} = 0 \end{cases}$$

La résolution numérique de ce système
5 fournit les coefficients a_1 , a_2 , etc et \hat{M} finale,
c'est-à-dire les masses traversées des deux catégories
de matériaux.

Ce sont ces opérations qui sont accomplies
dans l'invention ; il est important de remarquer que
10 les mesures (mes_k) employées dans la formule donnant Γ_v
et ensuite sont les mesures effectuées à travers
l'objet à étudier lui-même, mais pas celles qui ont été
faites à l'étalonnage pour déterminer les coefficients
A des fonctions \hat{M} .

15 L'invention permet d'échapper au dilemme de
procédés antérieurs dans lesquels on renonçait à une
partie des énergies de mesure ou au contraire on
acceptait des mesures peu distinctes : elle utilise en
effet tout le spectre, mais en le divisant en bandes
20 assez nombreuses pour que la mesure de chacune puisse
être comparée de façon utile à d'autres mesures, faites
sur des bandes éloignées. Elle permet ainsi, entre
autres avantages, d'étudier aussi bien des organismes
maigres que gras.

25 Enfin, l'invention peut être généralisée à
un nombre de matériaux plus grand que deux, ce qui peut
être intéressant notamment pour les procédés d'imagerie
à produit de contraste, où trois variables doivent être

B 14155.3/JCI

considérées ou pour contrôle des bagages (recherche d'explosifs) ; et elle peut être appliquée en considérant des combinaisons autres que linéaires des fonctions M .

5 Des application de l'invention sont :

. l'ostéodensitométrie

- obtention de la densité de masse osseuse

10 - obtention de la composition corporelle (masse grasse, masse maigre)

15 . le contrôle agro-alimentaire, par exemple la détection de fragments d'os dans de la viande ou la détection de morceaux de verres dans des plats cuisinés,

. le contrôle des bagages : recherche d'explosifs, de produits illicites (armes, aliments, drogue...)

REVENDICATIONS

- 1) Procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficients (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un calcul des facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal calculé d'après un bruit sur les mesures.
- 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la combinaison (f) des expressions est linéaire.
- 3) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variation de la combinaison est calculée avec une matrice de covariance (Γ_g) des expressions (\hat{M}).
- 4) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les expressions (\hat{M}) sont en nombre égal à celui des bandes, moins un, et établies toujours avec une des bandes (i_0) et, respectivement, chacune des autres bandes.

5) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les coefficients (A) sont déterminés à une étape préalable de calibration.

5 6) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'ostéodensitométrie.

7) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des contrôles agro-alimentaires.

10 8) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est appliqué au contrôle de bagages.

ABRÉGÉ DESCRIPTIF

L'invention concerne un procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficients (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un calcul des facteurs de pondération de manière que la combinaison ait une variation minimale d'après des variations des mesures.

20

Figure 3.

B 14155.3/JCI

1 / 2

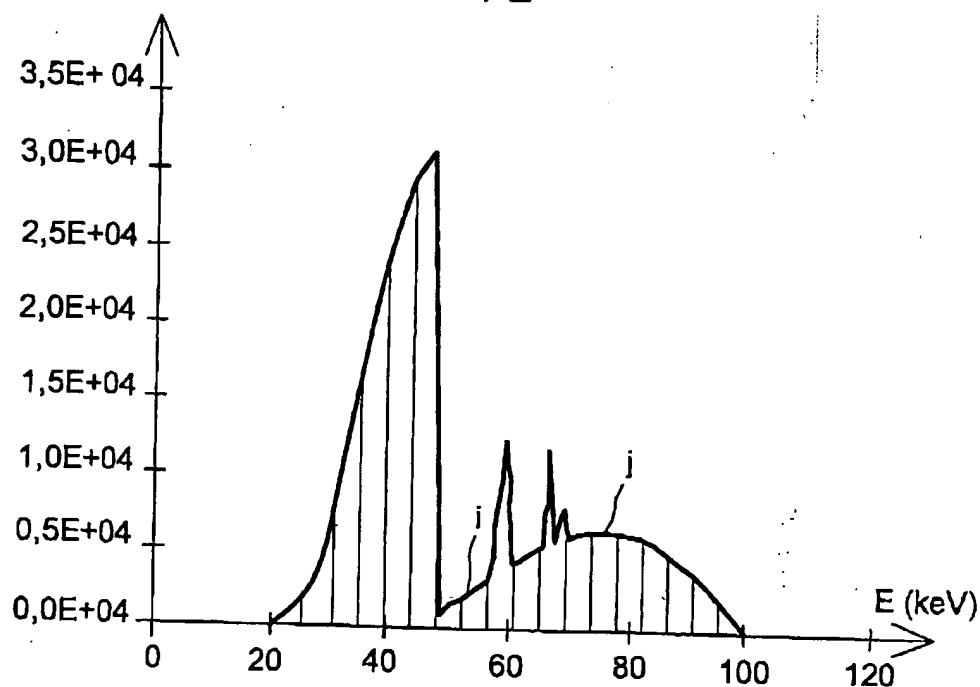


FIG. 1

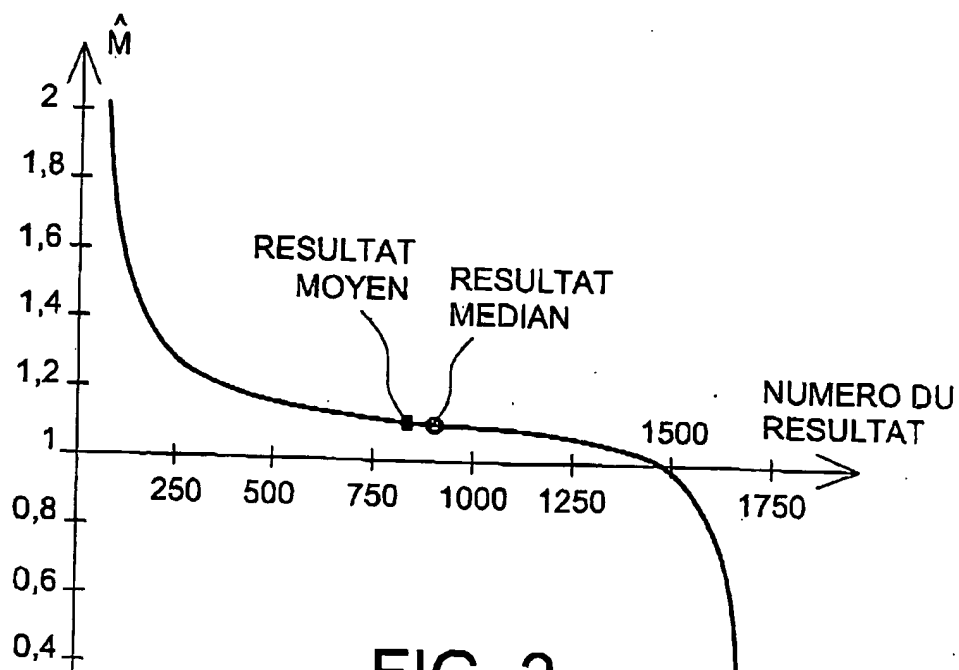


FIG. 2

B.14155

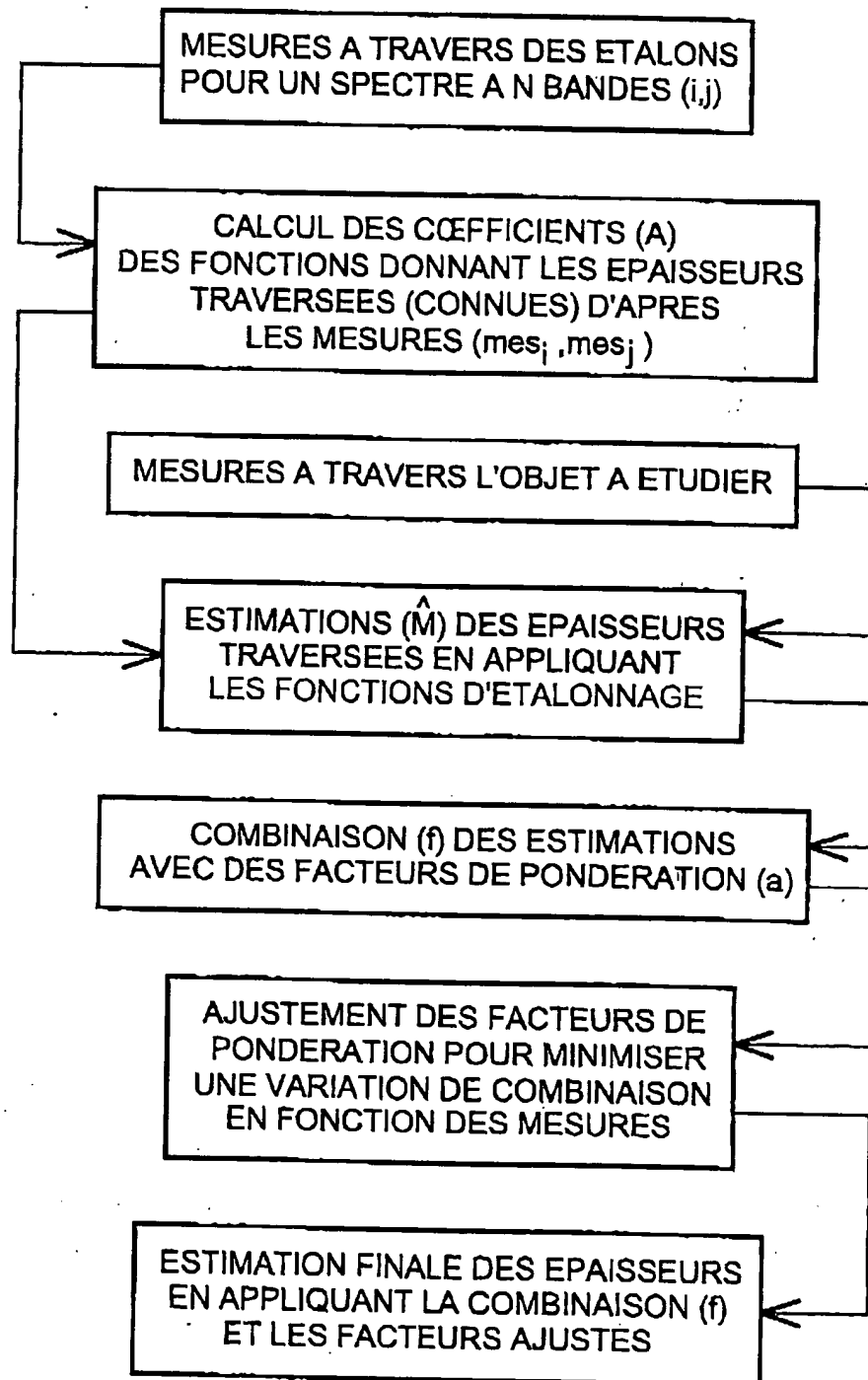


FIG. 3